

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра ЮНЕСКО «Энергосбережение и возобновляемые источники энергии»

С.В. Климович
И.В. Янцевич

**Теплотехнический расчет наружных ограждений
и тепловой баланс здания**

**Учебно-методическое пособие
к курсовой работе**

для студентов специальности
1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии
и энергетический менеджмент»

Электронный учебный материал

Минск 2019

УДК 692.23:699.86:378.147.091.313(075.8)

ББК 38.711я7

К 49

Авторы:

С.В. Климович, И.В. Янцевич

Рецензент:

Е.К. Костюкевич, зам. директора Института интегрированных форм обучения и мониторинга образования БНТУ, кандидат технических наук, доцент

Пособие содержит методические указания и варианты задания по курсовому проектированию по дисциплине «Энергопотребление в зданиях и сооружениях». Приведен теоретический материал и типовой вариант для теплотехнического расчета наружных ограждений здания и составления теплового баланса.

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.(017) 292-77-52 факс (017) 292-91-37
Регистрационный № БНТУ/ФТУГ – _____ .2019

© БНТУ, 2019

© Климович С.В., Янцевич И.В., 2019

© Янцевич И.В., компьютерный дизайн, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Состав и оформление работы.....	4
Теплотехнический расчет наружных ограждений и тепловой баланс здания	6
1 Определение расчетных условий	6
2 Определение расчетного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций	7
3 Определение фактического сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций	13
4 Определение трансмиссионных тепловых потерь.....	14
5 Определение тепловых потерь с воздухообменом	18
6 Определение свободных теплопоступлений	20
7 Определение расходов тепловой энергии на отопление	21
8 Анализ фактического теплопотребления	22
9 Определение тепловых нагрузок горячего водоснабжения	24
Литература	26
Приложение А – Бланк задания к курсовой работе	27
Приложение Б – Задание к курсовой работе	29
Приложение В – Варианты конструкции наружных стен	31
Приложение Г – Варианты конструкции кровельного покрытия/ чердачного перекрытия	35
Приложение Д – Варианты конструкции подвального перекрытия	40
Приложение Е – Варианты конструкции заполнений наружных световых проемов	42

СОСТАВ И ОФОРМЛЕНИЕ РАБОТЫ

В процессе изучения дисциплины «Энергопотребление в зданиях и сооружениях» студентам предлагается выполнить курсовую работу с расчетно-пояснительной запиской на 20-25 страницах печатного текста, включающей в указанной последовательности структурные элементы: титульный лист; задание; содержание; введение; основная расчетная часть; заключение (выводы); список использованных источников; приложения (при необходимости).

Бланк задания (приложение А) содержит следующие сведения: тему, исходные данные в соответствии с назначенным вариантом задания и сроки выполнения работы,

Вариант задания (приложение Б) выбирается студентами по номеру в списке группы. Работа, выполненная не по своему варианту, к рассмотрению не принимается.

Требованиям к оформлению курсовой работы:

- Текст расчетно-пояснительной записки оформляется на бумаге формата А4 (210×297 мм) с размером свободных полей: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее и нижнее – 20 мм. Шрифт текста Times New Roman черного цвета с высотой 14 pt, через интервал с множителем 1,25. Абзацы в тексте начинают отступом 5 мм, одинаковым по всему тексту.

- Сквозная нумерация страниц пояснительной записки и приложений, входящих в ее состав. Страницы нумеруются арабскими цифрами, проставляемыми в правом верхнем углу страницы. Номера страниц на титульном листе и на задании не ставятся, но включаются в общую нумерацию страниц.

- Заголовки разделов основной части записывают с абзацного отступа прописными буквами, нумеруя арабскими цифрами без точки в пределах всей пояснительной записки. Заголовки подразделов записывают с абзацного отступа строчными буквами, начиная с прописной буквы. В конце номера раздела точка не ставится.

- Выделение или подчеркивание заголовков всех структурных элементов не используется. Приложения (при наличии) обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А.

- Ссылки на использованные литературные источники должны нумероваться арабскими цифрами по порядку упоминания в тексте и помещаться в квадратные скобки. На все таблицы и рисунки должны быть сделаны ссылки в тексте. При ссылках в тексте на порядковые номера формул, таблиц, рисунков сокращения слов не допускаются, например, «... в формуле (1)», «... по таблице 1», «... на рисунке 1».

- При оформлении цифрового материала слово «Таблица» с номером и наименованием (при наличии) указывают один раз слева над таблицей. При переносе части таблицы на другую страницу над другими частями таблицы слева пишут слова «Продолжение таблицы» с указанием номера таблицы. Над

последней частью таблицы слева пишут слова «Окончание таблицы» с указанием номера таблицы. Нумеруют таблицы в пределах раздела арабскими цифрами. Название таблицы (при наличии) следует помещать сразу после номера таблицы, например, «Таблица 1 – Ведомость расчета».

- Иллюстрации следует нумеровать в пределах раздела арабскими цифрами. Слово «Рисунок», номер и наименование помещают после рисунка и пояснительных данных (если имеются), например, «Рисунок 1 – Однослойная конструкция».

- Формулы, применяемые в расчетах, должны быть расшифрованы с указанием размерностей всех буквенных величин. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него. Подстановку числовых значений буквенных величин следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в какой они даны в формуле. Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой. Формулы должны нумероваться в пределах раздела арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках.

Объектом исследования является жилое здание старой постройки городского квартала. Характеристики здания приводятся в задании.

Целью курсовой работы является теплотехнический расчет наружных ограждений и тепловой баланс здания для последующей разработки комплекса типовых энергосберегающих мероприятий в рамках тепловой модернизации жилого здания при изучении дисциплины «Энергоэффективность в ЖКХ».

С целью систематизации материал пособия изложен в сжатой форме и не ограничивает студентов в самостоятельной работе с литературой при выполнении курсовой работы и подготовке к сдаче экзамена по дисциплине. Теоретический материал пособия сопровождается решением типового варианта.

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ И ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ЗДАНИЯ

1 Определение расчетных условий

Определение расчетных условий определяется типом здания (в нашем случае – жилое) и географического района его постройки (указан в задании). В данной курсовой работе к расчетным условиям будем относить:

→ Расчетные параметры воздуха в помещениях для расчета наружных ограждающих конструкций здания:

- температура внутреннего воздуха t_e ;
- относительная влажность внутреннего воздуха ϕ_e .

Расчетные параметры воздуха в помещениях зданий принимаются в соответствии [3, таблица 4.1].

→ Влажностный режим помещений и условия эксплуатации ограждающих конструкций зданий в зимний период.

Влажностный режим помещений (сухой, нормальный, влажный и мокрый) и условия эксплуатации ограждающих конструкций зданий в зимний период (А, Б) принимаются в соответствии [3, таблица 4.2] в зависимости от температуры и относительной влажности внутреннего воздуха.

Следует обратить внимание, что чердачные перекрытия и перекрытия над неотапливаемыми подвалами помещений с нормальным влажностным режимом рассчитываются для условий эксплуатации ограждающих конструкций А.

→ Расчетные параметры наружного воздуха в отопительный период (для жилого здания отопительным является период года со среднесуточной температурой воздуха не более $+8^{\circ}\text{C}$):

- $t_{x.c.}$ – средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92;
- $t_{x.5}$ – средняя температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92;
- $t_{n.om}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период;
- v_{cp} – максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь.

Расчетные параметры наружного воздуха в отопительный период принимаются по [4, таблица 3.1].

→ Продолжительность отопительного периода z_{om} , принимаемая по [4, таблица 3.1].

Определяем расчетные условия для жилого здания, расположенного в г. Славгород Могилевской области:

1) Расчетные параметры воздуха в помещениях для расчета наружных ограждающих конструкций здания [3, таблица 4.1]:

- температура внутреннего воздуха $t_g = 18^\circ\text{C}$;
- относительная влажность внутреннего воздуха $\varphi_g = 55\%$.

2) Влажностный режим помещений и условия эксплуатации ограждающих конструкций зданий в зимний период принимаем в зависимости от температуры и относительной влажности внутреннего воздуха по [3, таблица 4.2]:

- наружная стена, кровельное покрытие – нормальный, Б
- подвальное перекрытие – нормальный, А

3) Расчетные параметры наружного воздуха в отопительный период (для периода года со среднесуточной температурой воздуха не более 8°C) принимаем по [4, таблица 3]:

– средняя температура наиболее холодных суток обеспеченностью 0,92 и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92:

$$t_{x.c} = -29^\circ\text{C}, \quad t_{x.5} = -24^\circ\text{C},$$

– средняя температура наружного воздуха за отопительный период:

$$t_{n.om} = -1,4^\circ\text{C},$$

– максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь:

$$v_{cp} = 4,4 \text{ м / с},$$

– продолжительность отопительного периода:

$$z_{om} = 197 \text{ сут.}$$

2 Определение расчетного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций

Для выполнения курсовой работы необходимо знать *расчетные* (то есть определяемые расчетным путем исходя из известных конструкций ограждений) сопротивления теплопередаче для следующих ограждающих конструкций:

- наружной стены (Н.с.) $R_{о.н.с}$;

– кровельного покрытия (К.п.) $R_{ок.п}$ или чердачного перекрытия (Ч.п.) $R_{оч.п}$ (в зависимости от предложенного варианта);

– подвального перекрытия (П.п.) $R_{он.п}$;

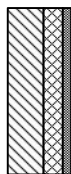
– заполнения световых проемов (Ок.) $R_{ок}$.

Расчетное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций (кроме заполнений световых проемов) определяется по [3, формула 5.6] в зависимости от типа конструкции:

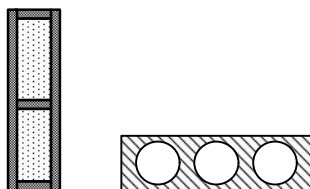
– однородная однослойная конструкция;



– многослойная конструкция с последовательно расположенными однородными слоями;



– многослойная неоднородная конструкция.



Следует обратить внимание, что при определении величины расчетного сопротивления теплопередаче наружных ограждений со сплошными воздушными прослойками, вентилируемыми наружным воздухом, в расчетах учитываются только та часть конструкции, которая расположена между прослойками и помещением.

Многослойные неоднородные конструкции характеризуются неодинаковым сечением при делении какой-либо плоскостью. Типичными примерами таких конструкций являются ограждения, имеющие толстые сквозные швы раствора, горизонтальные и вертикальные стыки панелей, ребра жесткости, плитные пустоты, ригели железобетонного каркаса, диафрагмы. Всегда термически неоднородны панельные стены, а также стены из колодезной кладки с теплоизоляционными вкладышами.

Изложенная в [3, пункт 5.11] методика расчета термически неоднородных конструкций достаточно трудоемка и требует точных сведений о схеме


теплопроводных включений и их параметрах. В этом случае расчетное сопротивление теплопередаче можно определять по формуле

$$R_o = R_o^{усл} \cdot r, \frac{м^2 \cdot К}{Вт}, \quad (1)$$

где $R_o^{усл}$ – условное сопротивление теплопередаче конструкции, определяемое по [3, формула 5.6] без учета теплопроводных включений; r – коэффициент термической неоднородности конструкции (принимается на основании расчета температурного поля или находится экспериментально).

В курсовой работе термически неоднородны следующие ограждения: наружные панельные стены (коэффициент термической неоднородности указан в соответствующих вариантах приложения А), покрытия/ перекрытия с многослойной плитой в основе (методика расчета приведена ниже).

Расчетное сопротивление теплопередаче заполнений световых проемов находят для принятой их конструкции по [3, приложение Г].

 *Типовой вариант:*

Определяем расчетные сопротивления теплопередаче наружных ограждений заданной конструкции:

1) Наружная стена (В-0):

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Плитка керамическая*	0,020	1600
2	Кирпич глиняный обыкновенный	0,520	1800
3	Сложный раствор	0,005	1700
+ (внутри помещения)			

* - теплотехнические характеристики принять как для керамического кирпича плотностью 1400 кг/м³ (брутто).

Заданная конструкция наружной стены представляет собой многослойную конструкцию с последовательно расположенными однородными слоями. В этом случае расчетное сопротивление теплопередаче ограждения определяем по [3, формулы 5.6, 5.7]:

$$R_{o.n.c.} = \frac{1}{\alpha_B} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_H}, \frac{m^2 \cdot K}{Вт}.$$

Коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции принимаем по [3, таблицы 5.4, 5.7]:

$$\alpha_B = 8,7 \frac{Вт}{m^2 \cdot K}, \quad \alpha_H = 23 \frac{Вт}{m^2 \cdot K}.$$

Коэффициенты теплопроводности i-ого слоя ограждения с учетом условий эксплуатации Б принимаем по [3, таблица А.1]:

$$\lambda_1 = 0,78 \frac{Вт}{m \cdot K} \text{ (позиция 58),}$$

$$\lambda_2 = 0,81 \frac{Вт}{m \cdot K} \text{ (позиция 52),}$$

$$\lambda_3 = 0,87 \frac{Вт}{m \cdot K} \text{ (позиция 40).}$$

Следовательно,

$$R_{o.n.c.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,020}{0,78} + \frac{0,520}{0,81} + \frac{0,005}{0,87} + \frac{1}{23} = 0,83 \frac{m^2 \cdot K}{Вт}.$$

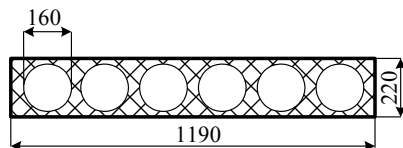
2) Кровельное покрытие (Г-0):

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
—			
1	Кровельный материал (битумы нефтяные)	0,070	1400
2	Асфальтобетонная стяжка	0,030	2100
3	Засыпка керамзитом* по уклону	0,040-0,220	600
4	Сборная железобетонная многопустотная плита	0,220	2500
+			

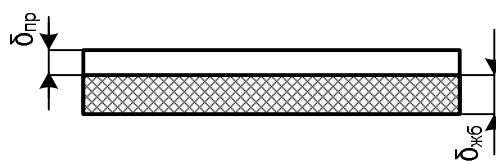
* - теплотехнические характеристики принять как для керамзитового гравия

Заданная конструкция кровельного покрытия представляет собой многослойную неоднородную конструкцию, поскольку в ее состав входит многопустотная плита.

В задании указаны характеристики многопустотной железобетонной плиты ($A \times B$ – геометрические размеры, N – количество пустот в одной плите):



Заменим конструкцию плиты эквивалентной ей конструкцией, состоящей из слоя замкнутой воздушной прослойки и однородного слоя железобетона:



Для этого применим следующий прием:

Площадь пустот в плите:

$$S = N \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 6 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,16^2}{4} = 0,121 \text{ м}^2.$$

Толщина приведенной замкнутой воздушной прослойки, по площади эквивалентной площади пустот в плите:

$$\delta_{пр} = \frac{S}{A} = \frac{0,121}{1,19} = 0,10 \text{ м}.$$

Приведенная толщина железобетона:

$$\delta_{жб} = B - \delta_{пр} = 0,220 - 0,10 = 0,12 \text{ м}.$$

Теперь конструкцию кровельного покрытия можно считать многослойной с последовательно расположенными однородными слоями. Расчетное сопротивление теплопередаче ограждения определяем по [3, формулы 5.6, 5.7]:

$$R_{o \text{ к.н.}} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{жб}}{\lambda_4} + R_{e.пр} + \frac{1}{\alpha_n}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

где коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции принимаем по [3, таблицы 5.4, 5.7]; коэффициенты теплопроводности i -ого слоя ограждения с учетом условий эксплуатации B принимаем по [3, таблица А.1]; термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки (температуру воздуха в прослойке считаем положительной) находим по [3, таблица Б.1] с учетом ее толщины $\delta_{пр}$ и

направления потока тепла снизу вверх; толщину слоя керамзита δ_3 берем среднюю в заданном интервале.

$$R_{o.k.n.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,070}{0,27} + \frac{0,030}{1,05} + \frac{0,130}{0,20} + \frac{0,12}{2,04} + 0,15 + \frac{1}{23} = 1,31 \frac{m^2 \cdot K}{Вт}$$

3) Подвальное перекрытие (Д-0):

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
+			
1	Доска половая сосновая ($\lambda_{сух} = 0,18$ Вт/(м·К))	0,030	500
2	Воздушная прослойка	0,050	
3	Плита древесноволокнистая	0,020	800
4	Железобетонная плита	0,220	2500
-			

Заданная конструкция подвального перекрытия представляет собой многослойную конструкцию с последовательно расположенными однородными слоями. Расчетное сопротивление теплопередаче ограждения определяем по [3, формулы 5.6, 5.7]:

$$R_{o.n.n.} = \frac{1}{\alpha_e} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + R_{e.np} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_n}, \frac{m^2 \cdot K}{Вт},$$

где коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей ограждающей конструкции принимаем по [3, таблицы 5.4, 5.7]; коэффициенты теплопроводности i -ого слоя ограждения с учетом условий эксплуатации A принимаем по [3, таблица А.1]; термическое сопротивление замкнутой воздушной прослойки (температуру воздуха в прослойке считаем положительной) находим по [3, таблица Б.1] с учетом ее толщины и направления потока тепла сверху вниз.

$$R_{o.n.n.} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,030}{0,29} + 0,17 + \frac{0,020}{0,19} + \frac{0,220}{1,92} + \frac{1}{12} = 0,69 \frac{m^2 \cdot K}{Вт}$$

4) Заполнение наружных световых проемов (Е-1):

Расчетное сопротивление теплопередаче для двойного остекления в деревянных отдельных переплетах находим согласно [3, приложение Г]:

$$R_{o \text{ ок.}} = 0,42 \frac{m^2 \cdot K}{Вт}$$

3 Определение фактического сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций

В теплотехнических расчетах должно участвовать *фактическое* сопротивление теплопередаче R_{ϕ} наружных ограждений, которое всегда меньше расчетного, что особенно проявляется для конструкций с длительным сроком эксплуатации.

Причины тому следующие:


- Нарушение технологии при промышленном производстве строительных конструкций, приводящее к отклонению реальных физических свойств материалов от нормативных;
- Наличие производственно-технологического брака, особенно это справедливо для сборных бетонных конструкций (сколы, трещины, заужения и т.д.);
- Нарушения на стадии строительства зданий (низкое качество монтажных и отделочных работ, перерасход или недорасход материалов, несоблюдение проектных толщин и т.д.);
- Необратимое ухудшение теплотехнических качеств наружных ограждений при их длительной эксплуатации (физическое разрушение и увлажнение материалов, возникновение трещин, усадка теплоизоляционного материала в панелях и т.д.).

Фактическое (реальное) сопротивление теплопередаче наружных ограждений определяют на основании расчета температурного поля.

В курсовой работе фактическое сопротивление теплопередаче наружных ограждающих конструкций следует определить с помощью поправочного коэффициента:

$$R_{\phi} = R_o \cdot \varepsilon, \frac{m^2 \cdot K}{Вт} \quad (2)$$

где R_o – расчетное сопротивление теплопередаче конструкции; ε – поправочный коэффициент, в работе условно принимаемый равным: 0,90 – для наружных стен, кровельных покрытий и заполнений наружных световых проемов, 0,95 – для чердачных и подвальных перекрытий.

 *Типовой вариант:*

Определяем фактические сопротивления теплопередаче ограждений по формуле (2), полагая в ней величину поправочного коэффициента для

наружных стен, кровельного покрытия и заполнений наружных световых проемов $\varepsilon = 0,90$, для подвального перекрытия $\varepsilon = 0,95$:

$$R_{\phi \text{ н.с.}} = R_{o \text{ н.с.}} \cdot \varepsilon = 0,90 \cdot 0,83 = 0,75 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\phi \text{ к.п.}} = R_{o \text{ к.п.}} \cdot \varepsilon = 0,90 \cdot 1,31 = 1,18 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\phi \text{ п.п.}} = R_{o \text{ п.п.}} \cdot \varepsilon = 0,95 \cdot 0,69 = 0,66 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\phi \text{ ок.}} = R_{o \text{ ок.}} \cdot \varepsilon = 0,90 \cdot 0,42 = 0,38 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

4 Определение трансмиссионных тепловых потерь

Трансмиссионные тепловые потери через наружные ограждения обусловлены процессами теплообмена.

Расчетный (наибольший) расход тепловой энергии на компенсацию трансмиссионных тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции Q_m определяют согласно [5, пункт Ж.1]:

$$Q_m = \frac{A \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot (1 + \Sigma\beta) \cdot n}{R_{\phi}}, \text{ Вт}, \quad (3)$$

где A – расчетная площадь ограждающей конструкции, м^2 ; R_{ϕ} – фактическое сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$; $t_{\text{в}}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, $^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{н}}$ – расчетная зимняя температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; $\Sigma\beta$ – добавочные теплотери в долях от основных теплотери; n – коэффициент, учитывающий положение наружной поверхности ограждающей конструкции по отношению к наружному воздуху, принимается по [3, таблица 5.3].

Согласно [5] расчетная зимняя температура наружного воздуха соответствует температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92.

В курсовой работе: расчетную площадь наружных стен (Н.с.), подвального перекрытия (П.п.), чердачного перекрытия (Ч.п.) или кровельного покрытия (К.п.) определить, используя данные о размерах по наружному габариту, этажности и высоте этажа здания (учитывается высота, ограничивающая отапливаемый объем). Расчетную площадь заполнений наружных световых проемов (Ок.) – через заданный коэффициент остекления здания ϕ , то есть отношение площади окон к площади наружных вертикальных ограждений.

К добавочным теплотерям $\Sigma\beta$ в данной работе будем относить только потери, связанные с ориентацией наружных вертикальных ограждений по сторонам горизонта. Их принимают согласно [5, пункт Ж.2].

Следует обратить внимание, что при определении трансмиссионных теплотер через перекрытие над неотапливаемым подвалом или через чердачное перекрытие расчетная зимняя температура наружного воздуха принимается равной фактической температуре воздуха, создаваемой в подвале или на чердаке. Последняя определяется из уравнения теплового баланса подвала или чердака.

В курсовой работе фактические температуры воздуха, создаваемые в подвале и на чердаке (в вариантах с чердачной крышей) при расчетной зимней температуре наружного воздуха указаны в бланках заданий.

Результат расчета трансмиссионных тепловых потерь записывают в «Ведомость расчета трансмиссионных тепловых потерь жилого здания» (Таблица 1).

Типовой вариант:

Определяем трансмиссионные тепловые потери для 5-этажного жилого дома, расположенного в г. Славгород Могилевской области.

Жилой дом в плане имеет прямоугольную форму с ориентацией главного (большого) фасада на северо-запад (СЗ), размеры по наружному габариту 11,8×65,4 м, высота этажа 3,0 м. Под всем зданием расположен неотапливаемый подвал со световыми проемами. Крыша здания – совмещенная малоуклонная неветилируемая. Коэффициент остекления здания $\varphi = 0,20$. Фактическая температура в подвале при расчетной зимней температуре наружного воздуха $t_n^n = 4,0^\circ\text{C}$.

Фактические сопротивления теплопередаче ограждений определены:

$$R_{\phi \text{ н.с.}} = 0,75 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\phi \text{ к.п.}} = 1,18 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\phi \text{ н.п.}} = 0,66 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}},$$

$$R_{\phi \text{ ок.}} = 0,38 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}.$$

Выполним расчет для главного фасада:

Расчетная площадь наружной стены и заполнений световых проемов:

$$A_{\text{н.с.}} = (1 - \varphi) \cdot A_{\text{фас}} = (1 - 0,2) \cdot (65,4 \cdot 15) = 784,8 \text{ м.}$$

$$A_{\text{ок.}} = \varphi \cdot A_{\text{фас}} = 0,2 \cdot (65,4 \cdot 15) = 196,2 \text{ м.}$$

Здесь $A_{\text{фас}}$ – площадь фасада здания, где 65,4 м – длина здания по наружному габариту, 15 м – высота, ограничивающая отапливаемый объем (5 этажей каждый высотой 3 м), φ – заданный коэффициент остекления.

Расчетная зимняя температура наружного воздуха [5]:

$$t_{\text{н}} = t_{\text{х.5}}(0,92) = -24 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Расчетная разность температур с учетом коэффициента, учитывающего положение наружной поверхности ограждения по отношению к наружному воздуху, принимаемого по [3, таблица 5.3]:

$$(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) \cdot n = (18 + 24) \cdot 1 = 42 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Добавочные теплотери для наружных вертикальных ограждений, обращенных на северо-запад, согласно [5, пункт Ж.2]: $\sum\beta = 0,1$.

Следовательно, по [5, формула Ж.1]:

$$Q_{\text{т н.с.}} = \frac{784,8 \cdot 42 \cdot (1 + 0,1)}{0,75} \cdot 10^{-3} = 48,3 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{т ок.}} = \frac{196,2 \cdot 42 \cdot (1 + 0,1)}{0,38} \cdot 10^{-3} = 23,9 \text{ кВт}.$$

По остальным ограждениям расчет выполняется аналогично (результаты расчетов сведены в таблицу 1), расчетный расход тепловой энергии на компенсацию трансмиссионных тепловых потерь в целом по дому составит:

$$Q_{\text{т}} = 205,7 \text{ кВт}.$$

81 Таблица 1 – Ведомость расчета трансмиссионных тепловых потерь жилого здания

Расчетная температура внутреннего воздуха $t_{в}$, °С	характеристика наружного ограждения					фактическое сопротивление теплопередаче ограждения R_{ϕ} , (м ² ·К)/Вт	расчетная разность температур $(t_{в}-t_{н}) \cdot n$, °С	добавочные теплопотери $\Sigma\beta$	расчетные тепловые потери, Q_m , кВт	
	наименование	ориентация по сторонам горизонта	размеры, м	коэффициент остекления φ	площадь A , м ²					
1	2	3	4	5	6	8	9	10	11	
18	Н.с.	СЗ	65,4·15,0	0,20	784,80	0,75	42	0,1	48,3	
	Ок.				196,20	0,38			23,9	
	Н.с.	СВ	11,8·15,0		141,60	0,75	42	0,1	8,7	
	Ок.				35,40	0,38			4,3	
	Н.с.	ЮВ	65,4·15,0		784,80	0,75	42	0,05	46,1	
	Ок.				196,20	0,38			22,8	
	Н.с.	ЮЗ	11,8·15,0		141,60	0,75	42	0	7,9	
	Ок.				35,40	0,38			3,9	
	К.п.	–	11,8·65,4		–	771,72	1,18	42	–	27,5
	П.п.	–	11,8·65,4		–	771,72	0,66	(18-4)·0,75=10,5	–	12,3
								Всего	205,7	

5 Определение тепловых потерь с воздухообменом

Проникновение наружного воздуха в помещения происходит путем инфильтрации (воздухопроницание через поры, щели и неплотности в ограждениях, обусловленное ветровым и тепловым давлением) и при их вентиляции, обусловленной санитарными нормами. В случае естественной вытяжной вентиляции наружный воздух поступает в помещения через открытые проемы (окна, двери, ворота, вентиляционные каналы)

В помещениях жилых зданий при естественной вытяжной вентиляции удаляемый воздух не компенсируется подогретым приточным воздухом. Согласно [5, пункты К.1, К.2] расчетный (наибольший) расход тепловой энергии на компенсацию тепловых потерь с воздухообменом $Q_{возд}$ следует принимать равным

$$Q_{возд} = \max\{Q_1, Q_2\},$$

где Q_1 – расход тепловой энергии на компенсацию тепловых потерь инфильтрацией, Вт; Q_2 – расход тепловой энергии на компенсацию тепловых потерь по расчетному удалению вытяжного воздуха, обеспечивающему санитарные нормы, Вт.

В курсовой работе величину Q_1 для здания следует определять через коэффициент инфильтрации μ , представляющий собой отношение теплотерь Q_1 к трансмиссионным теплотерям и определяемый по формуле

$$\mu = \frac{Q_1}{Q_m} = b \sqrt{2gL \left(1 - \frac{T_n}{T_e}\right) + K_{aэp} (v_{cp} \cdot \beta)^2} \quad (4)$$

где b – постоянная инфильтрации, для жилого здания $b = 0,035$ с/м; g – ускорение свободно падающего тела, $g = 9,81$ м/с²; L – расчётная высота для среднего этажа здания, $L \approx 0,25 \cdot H$ (H – свободная высота здания, м); T_n, T_e – расчетные температуры наружного и внутреннего воздуха, К; $K_{aэp}$ – аэродинамический коэффициент, $K_{aэp} = 0,6$; v_{cp} – максимальная из средних скоростей ветра по румбам в январе, м/с; β – поправочный коэффициент, учитывающий несовпадение во времени принятых в расчёте скорости ветра и температуры наружного воздуха, для условий РБ $\beta = 0,6$.

Величина Q_2 для здания определяется по формуле

$$Q_2 = 0,28 \cdot L_n \cdot \rho_e \cdot c \cdot (t_e - t_n) \cdot k, \text{ Вт}, \quad (5)$$

где L_n – расход удаляемого воздуха, не компенсируемого подогретым приточным воздухом, м³/ч, для жилых зданий санитарный удельный нормативный расход равен 3 м³/ч на 1 м² жилой площади; ρ_e – плотность воздуха в помещении, определяемая по [3, формула 8.4], кг/м³; k – коэффициент

учета влияния встречного теплового потока в конструкциях, равный: 0,8 – для окон с отдельными переплетами; 1,0 – для окон со спаренными переплетами.

В курсовой работе жилую площадь здания $A_{жс}$ следует определять через заданный объемный коэффициент здания $K_{об}$:

$$K_{об} = \frac{V}{A_{жс}} \quad (6)$$

Типовой вариант:

Определяем тепловые потери с воздухообменом для предложенного жилого здания.

Расчетный (наибольший) расход тепловой энергии на компенсацию тепловых потерь с воздухообменом $Q_{возд}$ принимается равным

$$Q_{возд} = \max\{Q_1, Q_2\}$$

Определяем величину тепловых потерь инфильтрацией вследствие ветрового и теплового давления Q_1 , для чего предварительно находим коэффициент инфильтрации (формула 4):

$$\mu = b \sqrt{2gL \left(1 - \frac{T_H}{T_B}\right) + K_{аэп} (v_{ср} \cdot \beta)^2},$$

$$L \approx 0,25H = 0,25 \cdot 16,2 = 4,05 \text{ м.}$$

$$T_B = 291 \text{ К.}$$

$$T_H = 249 \text{ К.}$$

Максимальная из средних скоростей ветра по румбам за январь [4, таблица 3.1]: $v_B = 4,4 \text{ м/с}$.

$$\mu = 0,035 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 4,05 \cdot \left(1 - \frac{249}{291}\right) + 0,6 \cdot (4,4 \cdot 0,6)^2} = 0,138.$$

Тогда:

$$Q_1 = \mu \cdot Q_T = 0,138 \cdot 205,7 = 28,4 \text{ кВт.}$$

Находим величину тепловых потерь Q_2 по расчетному удалению вытяжного воздуха, обеспечивающему санитарные нормы, определив компоненты [5, формула К.2].

Исходя из санитарного удельного нормативного расхода $3 \text{ м}^3/\text{ч}$ на 1 м^2 жилой площади, расход удаляемого воздуха, не компенсируемого подогретым приточным воздухом:

$$L_n = 3 \cdot A_{ж} \cdot \frac{M^3}{ч}$$

Общая жилая площадь через заданный объемный коэффициент здания:

$$A_{жс} = \frac{V_n}{K_{об}} = \frac{11,8 \cdot 65,4 \cdot 16,2}{6,2} = 2016,4 \text{ м}^2,$$

$$L_n = 2016,4 \cdot 3 = 6049,2 \frac{M^3}{ч}$$

Плотность внутреннего воздуха [3, формула 8.4]:

$$\rho_v = \frac{11,90}{9,8} = 1,21 \frac{кг}{м^3}$$

Следовательно,

$$Q_2 = 0,28 \cdot 6049,2 \cdot 1,21 \cdot 1 \cdot 42 \cdot 0,8 = 68,9 \text{ кВт},$$


$$Q_{возд} = \max\{28,4; 68,9\} = 68,9 \text{ кВт}$$

6 Определение свободных теплопоступлений

В жилых зданиях учитывают общие бытовые теплопоступления, источниками которых являются люди, искусственное освещение, бытовые приборы. В соответствии с [5, изменение №4 от 19.04.2010, пункт 6.1] теплопоступления принимают из расчета 9 Вт на 1 м² жилых помещений и кухонь:

$$Q_c = 9 \cdot A_{жс} \text{ , Вт} \quad (7)$$

В курсовой работе жилая площадь здания $A_{жс}$ (площадью кухонь пренебрегаем) определяется из выражения (6).

 *Типовой вариант:*

Определяем величину свободных теплопоступлений для предложенного жилого здания.

Исходя из расчета 9 Вт на 1 м² жилых помещений и кухонь, общие бытовые теплопоступления Q_c , источниками которых являются люди, искусственное освещение, бытовые приборы, составят:

$$Q_c = 21 \cdot A_{жс} \cdot 10^{-3} = 9 \cdot 2016,4 \cdot 10^{-3} = 18,1 \text{ кВт}.$$

7 Определение расходов тепловой энергии на отопление жилого здания

Расчетный (наибольший) расход тепловой энергии на отопление жилого здания Q_o определяется по условию наибольшего дефицита теплоты ($Q_c = 0$):

$$Q_o = Q_m + Q_{\text{возд}}, \text{ Вт}, \quad (8)$$

где Q_m – расчетный расход тепловой энергии на компенсацию трансмиссионных тепловых потерь; $Q_{\text{возд}}$ – расчетный расход тепловой энергии на компенсацию тепловых потерь с воздухообменом;

Средний расход тепловой энергии на отопление жилого здания за отопительный период Q_o^{cp} :

$$Q_o^{cp} = (Q_m + Q_{\text{возд}}) \cdot \frac{t_g - t_{н.от}}{t_g - t_n}, \text{ Вт}, \quad (9)$$

где $t_{н.от}$ – средняя температура наружного воздуха за отопительный период, °С.

Годовой расход тепловой энергии на отопление жилого здания $Q_o^{год}$ следует определять с учетом [5, приложение А]:

$$Q_o^{год} = 0,024 \cdot (Q_o^{cp} - \eta \cdot Q_c) \cdot z_{от}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (10)$$

где $z_{от}$ – продолжительность отопительного периода, сут; η_1 – коэффициент, принимаемый в зависимости от способа регулирования системы отопления по [5, таблица А.1], в курсовой работе: водяное отопление без регулирования $\eta_1 = 0,2$.

Для сведений: через участки наружных ограждений, расположенные за отопительными приборами, а также в результате остывания теплоносителя в трубопроводах, проложенных в неотапливаемых помещениях, имеют место дополнительные тепловые потери, на величину которых реальный расход тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания больше величины, рассчитанной по формуле (13). Согласно [5, пункт М.4] величина дополнительных тепловых потерь должна приниматься не более 7%, в курсовой работе дополнительные тепловые потери не учитываем.

Типовой вариант:

Определяем требуемые расходы тепловой энергии на отопление жилого дома, используя определенные ранее величины.

Расчетный (наибольший) расход тепловой энергии на отопление жилого здания Q_o :

$$Q_o = Q_m + Q_{возд} = 205,7 + 68,9 = 274,6 \text{ кВт},$$

Средний расход тепловой энергии на отопление жилого здания за отопительный период Q_o^{cp} :

$$Q_o^{cp} = (Q_m + Q_{возд}) \cdot \frac{t_g - t_{н.ом}}{t_g - t_n} = (205,7 + 68,9) \cdot \frac{18 + 1,4}{18 + 24} = 126,8 \text{ кВт}.$$

Годовой расход тепловой энергии на отопление жилого здания $Q_o^{год}$ с учетом [5, приложение А]:

$$Q_o^{год} = 0,024 \cdot (Q_o^{cp} - \eta \cdot Q_c) \cdot z_{ом} = 0,024 \cdot (126,8 - 0,2 \cdot 18,1) \cdot 197 = 582,4 \text{ МВт} \cdot \text{ч} (500,9 \text{ Гкал}),$$

где $\eta_1 = 0,2$ соответствует водяному отоплению без регулирования.

8 Анализ фактического теплопотребления жилого дома

Эффективность теплопотребления гражданских зданий определяется их классом по показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде. Согласно принятой классификации энергетической эффективности зданий [6] выделяют семь классов: А+, А, В, С, D, Е, F.

Классы А+, А, В, С устанавливают для модернизируемых и реконструируемых зданий на стадии разработки проекта с последующим их уточнением по результатам эксплуатации.

Соответствие зданий классам В, А и А+ по потреблению тепловой энергии на отопление и вентиляцию достигается:

- рациональным объемно-планировочным решением и компактностью здания;
- рациональным остеклением фасада здания;
- рациональным уровнем тепловой защиты ограждающих конструкций;
- применением в инженерных системах здания теплоутилизирующих установок или других технических средств.

Классы D, Е, F устанавливают для эксплуатируемых зданий с целью разработки очередности и мероприятий по реконструкции и тепловой модернизации этих зданий.

Проектирование вновь возводимых жилых зданий классов по потреблению тепловой энергии на отопление и вентиляцию – С, D, Е, F – не допускается.

Критерием отнесения здания к тому или иному классу служит величина удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительный период $q_{зд}$ [6].

В курсовой работе величину $q_{зд}$ определяем по формуле:

$$q_{зд} = \frac{Q_o^{зод}}{A_{ом}}, \frac{Вт}{м^2}, \quad (11)$$

где отапливаемую площадь здания (суммарная площадь пола этажей здания, определяемая по внутреннему периметру наружных вертикальных ограждающих конструкций) условно находим следующим образом:

$$A_{ом} = 0,9 \cdot N \cdot (A \cdot B), м^2 \quad (12)$$

Здесь N, A, B – соответственно заданные этажность, ширина и длина здания.

В курсовой работе необходимо определить класс жилого здания по показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде.

Типовой вариант:

Отапливаемая площадь жилого дома:

$$A_{ом} = 0,9 \cdot N \cdot (A \cdot B) = 0,9 \cdot 5 \cdot (11,8 \cdot 65,4) = 3472,74 м^2$$

Годовой удельный расход тепловой энергии на отопление жилого дома:

$$q_{зд} = \frac{Q_o^{зод}}{A_{ом}} = \frac{582,4 \cdot 10^3}{3472,74} = 167,7 \frac{кВт \cdot ч}{м^2}.$$

$$q_{зд} (5 \text{ этажей}) > 134 \frac{кВт \cdot ч}{м^2} \Rightarrow$$

Согласно [6, таблица 4] жилой дом относится к классу F по показателю удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию в отопительном периоде, что говорит о низкой эффективности его теплопотребления: здание нуждается в модернизации инженерного оборудования и тепловой модернизации.

9 Определение тепловых нагрузок горячего водоснабжения

Средненедельная тепловая нагрузка горячего водоснабжения жилого здания $Q_2^{cp.n}$ определяется согласно [7, приложение А]:

$$Q_2^{cp.n} = \frac{1,2 \cdot a \cdot m \cdot c \cdot (55 - t_x)}{24 \cdot 3,6}, \text{ Вт}, \quad (13)$$

где a – норма расхода горячей воды с температурой $t_2 = 55^\circ\text{C}$ на одного жителя в средние сутки, принимаемая в зависимости от степени комфортности здания по [8, приложение Б], л; m – число жителей в здании, чел, c – удельная теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/(кг·К); t_x – температура холодной (водопроводной) воды в отопительный период, принимаемая равной 5°C .

Число жителей в курсовой работе следует определять исходя из заданной обеспеченности жилой площадью (с округлением до следующего целого числа):

$$m = \frac{A_{жс}}{f_{жс}} \quad (14)$$

Средняя за сутки максимального водопотребления тепловая нагрузка горячего водоснабжения жилого здания $Q_2^{cp.c}$ определяется по [9, формула 2.32]:

$$Q_2^{cp.c} = \chi_n \cdot Q_2^{cp.n}, \text{ Вт}, \quad (15)$$

где χ_n – коэффициент недельной неравномерности расхода теплоты, для жилых зданий $\chi_n = 1,14$.

Расчетная (максимально-часовая) тепловая нагрузка горячего водоснабжения жилого здания Q_2^p определяется по [9, формула 2.33]:

$$Q_2^p = \chi_n \cdot \chi_c \cdot Q_2^{cp.n}, \text{ Вт}, \quad (16)$$


где χ_c – коэффициент суточной неравномерности расхода теплоты за сутки максимального водопотребления, для жилых зданий $\chi_c = 2,00$.

Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение $Q_2^{год}$ определяется по [9, формула 2.35]:

$$Q_2^{год} = 0,024 \cdot Q_2^{cp.n} \cdot \left(z_{om} + \beta \cdot \frac{55 - t_{x.l}}{55 - t_x} (z_2 - z_{om}) \right), \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (17)$$

где z_2, z_{om} – продолжительность работы системы горячего водоснабжения и длительность отопительного периода соответственно, сут; β – коэффициент снижения расхода воды на горячее водоснабжение в летний период, $\beta = 0,8$;

$t_{x.l}$ – температура холодной (водопроводной) воды в летний период, принимаемая равной 15°C.

 *Типовой вариант:*

Определяем требуемые тепловые нагрузки горячего водоснабжения.

Число жителей жилого дома, исходя из заданной обеспеченности жилой площадью:

$$m = \frac{A_{жс}}{f_{жс}} = \frac{2016,4}{12} = 168,03 \approx 169 \text{ чел.}$$

Средненедельная тепловая нагрузка горячего водоснабжения жилого здания согласно [7, приложение А]:

$$Q_z^{cp.n} = \frac{1,2 \cdot a \cdot m \cdot c \cdot (55 - t_x) \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 3,6} =$$

$$= \frac{1,2 \cdot 105 \cdot 169 \cdot 4,19 \cdot (55 - 5) \cdot 10^{-3}}{24 \cdot 3,6} = 51,6 \text{ кВт},$$

где $a = 105 \text{ л}/(\text{чел} \cdot \text{сут})$ для жилых домов с ваннами длиной от 1500 до 1700 мм, оборудованными душами, согласно [8, приложение Б].

Средняя за сутки максимального водопотребления тепловая нагрузка горячего водоснабжения жилого здания по [9, формула 2.32]:

$$Q_z^{cp.c} = \chi_n \cdot Q_z^{cp.n} = 1,14 \cdot 51,6 = 58,8 \text{ кВт},$$

где коэффициент недельной неравномерности расхода теплоты $\chi_n = 1,14$.

Расчетная (максимально-часовая) тепловая нагрузка горячего водоснабжения жилого здания по [9, формула 2.33]:

$$Q_z^p = \chi_n \cdot \chi_c \cdot Q_z^{cp.n} = 1,14 \cdot 2,00 \cdot 51,6 = 117,7 \text{ кВт},$$

где коэффициент суточной неравномерности расхода теплоты за сутки максимального водопотребления $\chi_c = 2,00$.

Годовой расход теплоты на горячее водоснабжение по [9, формула 2.35]:

$$Q_{\Gamma}^{\text{год}} = 0,024 \cdot Q_{\Gamma}^{cp.n} \cdot \left(z_{\text{от}} + \beta \cdot \frac{55 - t_{x.l}}{55 - t_x} (z_{\Gamma} - z_{\text{от}}) \right) = 0,024 \cdot 51,6 \times$$

$$\times \left(197 + 0,8 \cdot \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot (350 - 197) \right) = 365,2 \text{ МВт} \cdot \text{ч} \quad (314,1 \text{ Гкал}).$$

ЛИТЕРАТУРА

1. ТКП 45-1.01-4-2005 Национальный комплекс технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства. Основные положения.
2. ТКП 45-3.02-113-2009 Тепловая изоляция наружных ограждающих конструкций зданий и сооружений. Строительные нормы проектирования.
3. ТКП 45-2.04-43-2006 Строительная теплотехника.
4. СНБ 2.04.02-2000 Строительная климатология.
5. СНБ 4.02.01-03 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
6. ТКП 45-2.04-196-2010 Тепловая защита зданий. Теплоэнергетические характеристики.
7. ТКП 45-4.02-182-2009 Тепловые сети. Строительные нормы проектирования.
8. ТКП 45-4.01-52-2007 Системы внутреннего водоснабжения зданий. Строительные нормы проектирования.
9. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: Учебник для вузов. – 7 -е изд., стереот. – М.: Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.: ил.
10. Горбач А.В. Энергоэффективность в жилищно-коммунальном хозяйстве: учебно-методическое пособие по курсовой работе «Тепловая модернизация жилого здания с реконструкцией участка внутриквартальной тепловой сети» для студентов специальности 1-43 01 06 «Энергоэффективные технологии и энергетический менеджмент»/А.В. Горбач. – Минск: БГТУ, 2010. – 104 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет технологии управления и гуманитаризации

Утверждаю
Заведующий кафедрой

« _____ » _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ ПО КУРСОВОМУ ПРОЕКТИРОВАНИЮ

Обучающемуся _____

1. Тема курсовой работы «Теплотехнический расчет наружных ограждений и тепловой баланс здания»
2. Сроки сдачи законченной работы _____ 20__ г.
3. Исходные данные к работе. Вариант № _____.

Жилое здание _____ г. постройки, расположенное в г. _____ Республики Беларусь.

Здание в плане имеет прямоугольную форму с ориентацией главного фасада (δ) на _____ и размерами по наружному габариту ($a \times b$) _____ \times _____ м. Свободная высота здания (H) составляет _____ м.

В планировочном плане здание _____ секционное, _____ этажное с высотой этажа (h) _____ м.

Под всем зданием расположен не отапливаемый подвал со световыми проемами.

Крыша здания _____.

Конструкции наружных ограждений здания: Наружная стена (приложение В) _____. Кровельное покрытие/чердачное перекрытие (приложение Г) _____. Подвальное перекрытие (приложение Д) _____. Заполнение наружных световых проемов (приложение Е) _____.

Коэффициент остекления здания (φ) _____.

Объемный коэффициент здания ($K_{об}$) _____ $\text{м}^3/\text{м}^2$.

Обеспеченность жилой площадью ($f_{ж}$) _____ $\text{м}^2/\text{чел}$.

Фактическая температура при расчетной зимней температуре наружного воздуха: в подвале ($t_n^п$) _____ $^{\circ}\text{C}$ и на чердаке ($t_n^ч$) _____ $^{\circ}\text{C}$ (в случае чердачной кровли).

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень вопросов, которые подлежат разработке):

4.1. Введение.

4.2. Определение расчетных условий.

- 4.3. Определение расчетного сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций.
- 4.4. Определение фактического сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций.
- 4.5. Определение трансмиссионных тепловых потерь.
- 4.6. Определение тепловых потерь с воздухообменом.
- 4.7. Определение свободных теплопоступлений.
- 4.8. Определение расходов тепловой энергии на отопление.
- 4.9. Анализ фактического теплопотребления.
- 4.10. Определение тепловых нагрузок горячего водоснабжения.
- 4.11. Заключение.

Список использованных источников.

5. Консультант по курсовой работе _____

6. Дата выдачи задания ____ 20__ г.

7. Примерный календарный график выполнения курсовой работы с указанием сроков выполнения и трудоемкости отдельных этапов: _____ – п.4.1...4.3; _____ – п.4.4...4.5; _____ – п.4.6...4.8; _____ – п.4.9...4.11.

Руководитель _____
(подпись)

Подпись обучающегося _____

Дата _____

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Задание к курсовой работе

Вариант	Характеристика здания									
	Год	Город	δ	a , м	b , м	H , м	Этаж-ность	Число секций	h , м	Крыша
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
0*	1968	Славгород	СЗ	11,8	65,4	16,2	5	4	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая
1	1970	Брест	С	12,4	50,6	10,2	3	3	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
2	1972	Пинск	СВ	12,6	81,5	15,9	5	5	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
3	1974	Барановичи	В	11,8	52,8	16,0	5	3	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая
4	1976	Минск	ЮВ	12,6	64,8	28,4	9	4	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая
5	1978	Борисов	Ю	12,4	50,3	9,8	3	3	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
6	1980	Витебск	ЮЗ	12,5	34,1	13,1	4	2	3,0	Плоская рулонная с полупроходным чердаком
7	1982	Полоцк	З	13,4	67,2	17,8	5	4	3,0	Чердачная с кровлей из рулонных материалов
8	1984	Гомель	СЗ	12,6	49,6	11,8	3	3	3,0	Чердачная с кровлей из штучных материалов
9	1986	Жлобин	С	11,9	62,8	16,0	5	4	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
10	1987	Могилев	СВ	12,5	46,4	10,0	3	3	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
11	1969	Бобруйск	В	12,8	63,0	16,4	5	5	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая
12	1971	Гродно	ЮВ	12,0	32,0	13,8	4	2	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая
13	1973	Лида	Ю	12,4	45,5	10,5	3	3	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
14	1975	Волковыск	ЮЗ	12,2	30,6	11,0	3	2	3,0	Чердачная с кровлей из штучных материалов
15	1977	Новогрудок	З	13,2	58,2	29,0	9	4	3,0	Плоская рулонная с полупроходным чердаком
16	1979	Брест	СЗ	12,8	35,1	10,6	3	3	3,0	Чердачная с кровлей из рулонных материалов
17	1981	Пинск	С	12,4	88,2	28,0	9	6	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
18	1983	Барановичи	СВ	12,7	64,8	10,0	3	4	3,0	Совмещенная плоская неветилируемая
19	1985	Минск	В	11,8	33,6	13,2	4	2	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая
20	1987	Борисов	ЮВ	12,2	39,4	16,0	5	3	3,0	Совмещенная малоуклонная неветилируемая

* – типовой вариант

Приложение Б – окончание

	φ	$K_{об}, \text{м}^3/\text{м}^2$	$f_{жс}, \text{м}^2/\text{чел}$	Конструкция наружных ограждений				$t_n^n, \text{°C}$	$t_n^ч, \text{°C}$
				Н.с.	К.п./Ч.	П.п.	Ок.		
<i>1</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>
0*	0,20	6,2	12	В - 0	Г - 0	Д - 0	Е - 1	4,0	–
1	0,22	5,8	10	В - 1	Г - 1	Д - 1	Е - 1	6,0	–
2	0,20	5,9	11	В - 2	Г - 2	Д - 2	Е - 2	7,0	–
3	0,20	6,0	12	В - 3	Г - 3	Д - 3	Е - 1	2,5	–
4	0,18	6,1	13	В - 4	Г - 4	Д - 1	Е - 2	1,5	–
5	0,22	6,2	14	В - 5	Г - 5	Д - 2	Е - 1	7,5	–
6	0,22	6,3	15	В - 6	Г - 6	Д - 3	Е - 2	3,2	2,6
7	0,20	6,4	10	В - 7	Г - 7	Д - 1	Е - 1	6,4	5,8
8	0,22	6,5	11	В - 8	Г - 8	Д - 2	Е - 2	7,0	7,2
9	0,20	6,6	12	В - 9	Г - 1	Д - 3	Е - 1	3,8	–
10	0,22	5,8	13	В - 1	Г - 2	Д - 1	Е - 2	7,0	–
11	0,20	5,9	14	В - 2	Г - 3	Д - 2	Е - 1	7,4	–
12	0,22	6,0	15	В - 3	Г - 4	Д - 3	Е - 2	4,4	–
13	0,22	6,1	10	В - 4	Г - 5	Д - 1	Е - 1	7,2	–
14	0,22	6,2	11	В - 5	Г - 6	Д - 2	Е - 2	7,8	3,2
15	0,18	6,3	12	В - 6	Г - 7	Д - 3	Е - 1	1,6	1,4
16	0,22	6,4	13	В - 7	Г - 8	Д - 1	Е - 2	2,4	4,8
17	0,18	6,5	14	В - 8	Г - 1	Д - 2	Е - 1	7,2	–
18	0,22	6,6	15	В - 9	Г - 2	Д - 3	Е - 2	6,0	–
19	0,22	5,8	10	В - 1	Г - 3	Д - 1	Е - 1	5,5	–
20	0,20	5,9	11	А - 2	Г - 4	Д - 2	Е - 2	7,0	

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Варианты конструкции наружных стен

В – 0 Конструкция наружной стены представляет собой кладку из сплошного обыкновенного кирпича с облицовкой керамической плиткой под «кабанчик» и оштукатуренного с внутренней стороны.

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Плитка керамическая*	0,020	1600
2	Кирпич глиняный обыкновенный	0,520	1800
3	Сложный раствор	0,005	1700
+ (внутри помещения)			

* - теплотехнические характеристики принять как для керамического кирпича плотностью 1400 кг/м³ (брутто)

В – 1 Конструкция наружной стены представляет собой кладку из сплошного силикатного кирпича с двусторонней штукатуркой.

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Известково-песчаный раствор	0,020	1600
2	Кирпич сплошной силикатный	0,510	1800
3	Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	0,020	800
+ (внутри помещения)			

В – 2 Конструкция наружной стены представляет собой кладку из керамического пустотелого кирпича, облицованного снаружи силикатным кирпичом и оштукатуренного с внутренней стороны.

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Кирпич сплошной силикатный	0,130	1700
2	Кирпич керамический пустотелый плотностью 1400 кг/м ³ (брутто)	0,380	1600
3	Гипсоперлитовый раствор	0,020	600
+ (внутри помещения)			

В – 3 Наружная стена выполнена из монолитного аглопоритобетона с двусторонней штукатуркой.

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Цементно-шлаковый раствор	0,025	1400
2	Аглопоритобетон	0,520	1600
3	Известково-песчаный раствор	0,010	1600
+ (внутри помещения)			

В – 4 Наружная стена выполнена из монолитного керамзитобетона с наружным фактурным слоем и обшивкой гипсовыми листами с внутренней стороны.

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Сложный раствор	0,030	1700
2	Керамзитобетон	0,500	1800
3	Плиты из гипса	0,010	1200
+ (внутри помещения)			

В – 5 Наружная стена выполнена из калиброванных силикатных блоков с двусторонней штукатуркой.

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Известково-песчаный раствор	0,030	1600
2	Силикатные блоки	0,500	1700
3	Поризованный гипсоперлитовый раствор	0,020	500
+ (внутри помещения)			

В – 6 Наружная стена выполнена из трехслойных панелей с ребристой железобетонной оболочкой и теплоизоляционным слоем из минеральной ваты.

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Железобетон	0,080	2500
2	Жесткие минераловатные плиты на синтетическом связующем	0,120	250
3	Железобетон	0,050	2500
+ (внутри помещения)			

Коэффициент термической неоднородности: $r = 0,70$.

В – 7 Наружная стена выполнена из трехслойных панелей с ребристой железобетонной оболочкой, заполненной вкладышами из пеностекла.

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Железобетон	0,070	2500
2	Пеностекло	0,120	180
3	Железобетон	0,060	2500
+ (внутри помещения)			

Коэффициент термической неоднородности: $r = 0,80$.

В – 8 Наружная стена выполнена из сборных панелей с замкнутой воздушной прослойкой, покрытых изнутри сухой штукатуркой.

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Керамзитобетон (на керамзитовом песке)	0,200	600
2	Воздушная прослойка	0,050	
3	Железобетон	0,200	2500
4	Листы гипсовые обшивочные (сухая штукатурка)	0,020	800
+ (внутри помещения)			

Коэффициент термической неоднородности: $r = 0,90$.

В – 9 Наружная стена выполнена из однослойных керамзитопенобетонных панелей с наружным фактурным слоем и отделкой фибролитовыми плитами с внутренней стороны.

Слой	Материал	Толщина на слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Известково-песчаный раствор	0,020	1600
2	Керамзитопенобетон	0,400	1000
3	Плиты фибролитовые	0,030	800
+ (внутри помещения)			

Коэффициент термической неоднородности: $r = 0,95$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

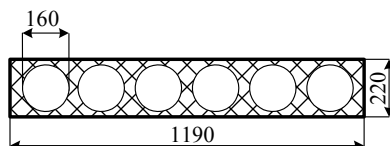
Варианты конструкции кровельного покрытия/чердачного перекрытия

Г – 0 Кровельное покрытие

Слой	Материал	Толщи на слоя, м	Плотност ь, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Кровельный материал (битумы нефтяные)	0,070	1400
2	Асфальтобетонная стяжка	0,030	2100
3	Засыпка керамзитом* по уклону	0,040- 0,220	600
4	Сборная железобетонная многопустотная плита	0,220	2500
+ (внутри помещения)			

* - теплотехнические характеристики принять как для керамзитового гравия

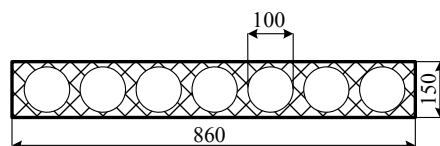
Характеристика многопустотной железобетонной плиты:



Г – 1 Кровельное покрытие

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Битум кровельный	0,015	1200
2	Стяжка из сложного раствора	0,010	1700
3	Пенобетон	0,100	400
4	Пароизоляция (пергамин)	0,010	600
5	Железобетонная панель	0,150	2500
+ (внутри помещения)			

Характеристика железобетонной панели:



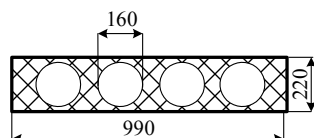
Г – 2 Кровельное покрытие

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Гидроизоляционное покрытие из перлита	0,050	400
2	Аглопоритобетонная ребристая плита	0,035	1800
3	Воздушная прослойка	0,250	
4	Пакля	0,060	150
5	Аглопоритобетонная ребристая плита	0,035	1800
+ (внутри помещения)			

Г – 3 Кровельное покрытие

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Гидроизоляционный ковер (рубероид)	0,020	600
2	Стяжка из битума	0,040	1000
3	Засыпка керамзитом* по уклону	0,040- 0,260	600
4	Пароизоляция (пергамин)	0,005	600
5	Сборная железобетонная многопустотная плита	0,220	2500
+ (внутри помещения)			

* - теплотехнические характеристики принять как для керамзитового гравия
Характеристика многопустотной железобетонной плиты:



Г – 4 Кровельное покрытие

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Гидроизоляционный ковер (толь)	0,010	600
2	Стяжка из асфальтобетона	0,030	2100
3	Засыпка из котельного шлака* по уклону	0,060- 0,200	200
4	Железобетонная плита	0,200	2500
+ (внутри помещения)			

* - теплотехнические характеристики принять как для керамзитового гравия

Г – 5 Кровельное покрытие

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Гидроизоляционный ковер (пергамин)	0,050	600
2	Цементно-песчаная стяжка	0,025	1800
3	Битум кровельный	0,020	1400
4	Железобетонная плита	0,035	2500
5	Воздушная прослойка	0,200	
6	Плиты минераловатные	0,060	200
7	Железобетонная плита	0,035	2500
+ (внутри помещения)			

Г – 6 Чердачное перекрытие

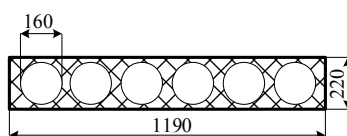
Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Битумоперлит	0,100	400
2	Железобетонная плита	0,100	2500
3	Плиты фибролитовые	0,020	800
+ (внутри помещения)			

Г – 7 Чердачное перекрытие

Слой	Материал	Толщина на слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Стяжка из цементно-шлакового раствора	0,040	1400
2	Засыпка из котельного шлака*	0,100	800
3	Пароизоляция (толь)	0,010	600
4	Сборная железобетонная многопустотная плита	0,220	2500
+ (внутри помещения)			

* - теплотехнические характеристики принять как для керамзитового гравия

Характеристика многопустотной железобетонной плиты:



Г – 8 Чердачное перекрытие

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
— (снаружи помещения)			
1	Засыпка из керамзитового гравия	0,100	800
2	Пароизоляция (рубероид)	0,020	600
3	Накат из сосновых досок ($\lambda_{сух} = 0,18$ Вт/(м·К))	0,080	500
4	Гипсоперлитовая штукатурка по дрени	0,020	600
+ (внутри помещения)			

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Варианты конструкции подвального перекрытия

Д – 0 Подвальное перекрытие

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
+ (внутри помещения)			
1	Доска половая сосновая ($\lambda_{\text{сух}} = 0,18 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$)	0,030	500
2	Воздушная прослойка	0,050	
3	Плита древесноволокнистая	0,020	800
4	Железобетонная плита	0,220	2500
— (снаружи помещения)			

Д – 1 Подвальное перекрытие

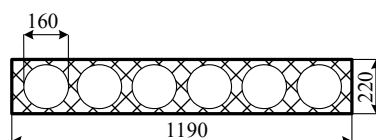
Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
+ (внутри помещения)			
1	Древесноволокнистая плита	0,018	1000
2	Воздушная прослойка	0,030	
3	Утеплитель (котельный шлак*)	0,060	400
4	Железобетонная плита	0,035	2500
— (снаружи помещения)			

* - теплотехнические характеристики принять как для керамзитового гравия

Д – 2 Подвальное перекрытие

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
+ (внутри помещения)			
1	Линолеум (многослойный)	0,005	1600
2	Стяжка из сложного раствора	0,030	1700
3	Железобетонная многопустотная плита	0,220	2500
– (снаружи помещения)			

Характеристика многопустотной железобетонной плиты:



Д – 3 Подвальное перекрытие

Слой	Материал	Толщина слоя, м	Плотность, кг/м ³
+ (внутри помещения)			
1	Паркетная клепка из дуба ($\lambda_{\text{сух}} = 0,10$ Вт/(м·К))	0,017	700
2	Асфальтобетонная стяжка	0,065	2100
3	Утеплитель (котельный шлак*)	0,070	400
4	Железобетонная плита перекрытия	0,035	2500
– (снаружи помещения)			

* - теплотехнические характеристики принять как для керамзитового гравия

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Варианты конструкции заполнений наружных световых проемов

Е – 1 Двойное остекление в деревянных отдельных переплетах.

Е – 2 Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах.